

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-252651

(43)公開日 平成9年(1997)9月30日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
A 0 1 G 7/00	6 0 1		A 0 1 G 7/00	6 0 1 A
				6 0 1 C
9/02	1 0 1		9/02	1 0 1 W
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	H

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平8-70239

(22)出願日 平成8年(1996)3月26日

(71)出願人 594186625

岡本 研正

香川県高松市昭和町1丁目13番地25の406号

(71)出願人 596041180

田中 道男

香川県木田郡三木町大字平木644-2

(71)出願人 596041191

牧野 好美

横浜市港南区日野南6丁目34-22

(74)代理人 弁理士 長谷川 曉司

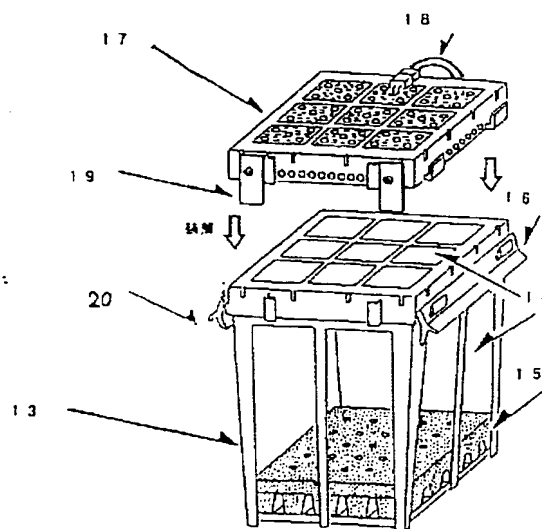
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 植物栽培用LED光源および個別LED光源装着型植物培養容器

(57)【要約】

【課題】 本発明は透光性でかつ通気性を有する一方、水分や雑菌等は通さないという特殊な性質を有する樹脂フィルムで容器の一部ないしは全体を囲ったマイクロプロパゲーション用培養容器や、ガラスまたはプラスチック等の樹脂からなる通常の培養容器に、赤色発光ダイオード単独またはこれと青色発光ダイオードの両方を含む発光ダイオード(LED)アレー(配列)からなる人工光源を装着して一体化することにより、外部光源不要という従来のものにはない特徴を有する、きわめて簡便かつ小型・軽量、安価で、しかも量産可能な新型培養容器に関する。

【解決手段】 赤色LED単独又は赤色LEDと青色LEDの両方を含むLED素子を基板等に配列し、これを培養容器の蓋に取り付け可能とした植物栽培用人工光源。また、LED光源を装着した蓋と容器本体からなる個別LED光源装着型植物培養容器。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 発光ダイオード素子を有し、植物培養容器の上部に装着しうる様に構成された植物栽培用LED光源。

【請求項2】 基板に配列してなる波長領域630nmから680nmの赤色LED、または該赤色LEDと波長領域380nmから480nmの青色LEDの素子からなることを特徴とする請求項1記載の光源。

【請求項3】 整流素子または整流回路を付設してなることを特徴とする請求項1または2記載の植物栽培用LED光源。

【請求項4】 LEDの整流機能を生かしLEDの接続回路を調節することにより、変圧器、整流素子または整流回路無しで直接家庭用、業務用交流電源に使用可能な請求項1または2記載の植物栽培用LED光源。

【請求項5】 容器本体と蓋からなる培養容器であって、発光ダイオード(LED)素子を、直接蓋部分に装着してなることを特徴とする個別LED光源装着型植物培養容器。

【請求項6】 LEDを発光素子とした光源装置を培養容器上部に重ねて装着する事を特徴とする個別LED光源装着型植物培養容器。

【請求項7】 請求項2乃至4の何れかに記載の光源を装着してなる請求項5または6の何れかに記載の植物培養容器。

【請求項8】 容器本体の少なくとも一部が通気性素材で形成されていることを特徴とする請求項5乃至7の何れかに記載の植物培養容器。

【請求項9】 フレームと通気性透明樹脂フィルムから構成され、内部に培地を収容した容器本体と、赤色LEDまたは赤色LEDおよび青色LEDからなる光源を搭載し、ゴムパッキングおよび容器本体との固定手段を有する蓋からなる請求項5乃至8の何れかに記載の植物培養容器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、人工光源による植物栽培や植物組織培養での使用を目的とする、安価かつ簡便なるまったく新しいタイプの栽培(培養)容器に関するものである。本発明による栽培(培養)容器は、農学や農業における植物栽培や植物組織培養、医学、薬学、生化学、食品科学などにおけるバイオ実験などで利用できる。また、家庭内菜園や卓上菜園、さらにはインテリアとしての応用も考えられ、コンシューマ・プロダクト(民生用商品)としての新規なる事業の可能性に満ちたものである。本発明の先端技術的な利用としては、宇宙ステーション内での食用作物栽培が考えられる。

## 【0002】

【従来の技術】 透明容器を用いた培養は以前から植物組織培養等で広く行われていたが、マイクロプロパゲシ

ョン(組織培養にエリート個体のクローン苗の大量増殖)では容器への雑菌の混入が苗条(シュート)の生育に致命的な影響を及ぼすことが問題であった。これを解決する目的で、本発明者の一人である田中道男らは、培養器内部と養液栽培用のロックウール(輝緑石や製鉄の際に出るスラッジ等から作った繊維状支持体)を通気性のあるフッ素溶融樹脂透明フィルムで加熱圧着密封するとともに、実用的な工夫を凝らした培養器を開発した。

(特願昭63-36396)。その後、田中道男と香川県善通寺市の(有)パイオ・Uは、この培養器を改造し、プラスチックフレームで全体を補強するとともに蓋部と本体を分離し、双方を発泡シリコンパッキングや固定レバーなどで迅速、簡単に結合・脱着ができる新型培養器を開発した。新型培養器は、現時点ではまだ広く利用されるには至っていないが、田中道男はこれを用いてラン苗やその他の園芸植物等のマイクロプロパゲーションを試み、すでに実験に成功している。これにより新型培養器は、目下、国内外の業界・学会から注目を浴びている。現在、(有)パイオ・Uは、この新型培養器の人工光源として植物育成用蛍光灯ランプを用い、他に先駆けてラン苗の大量栽培を実施している。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 新型培養器を使用したマイクロプロパゲーションは、革命的な栽培方法であるが、この方法には、従来、次のような問題点がある。

(1) 光源に植物育成用蛍光灯ランプを使っている。このランプはフィラメント型ランプに比べて電力効率が良く発熱も少ないが、光源が大型であること、ランプ管自身の発熱や、電気回路上ランプ一本につき一個必要な安定器(鉄心入りコイル)の発する熱は少なくなく、栽培空間の大型化とあわせて空調に相当な電力を要する。また、蛍光灯ランプでは、光はランプ軸に垂直な全方向に放射されるため、その真下にある栽培(培養)物への照射効率は悪く、しかも、光照射強度はランプからの距離の自乗に反比例して弱くなる。このため、実際には蛍光灯ランプの全体的光利用効率はあまり良くない。

【0004】 (2) 植物育成用蛍光灯ランプは、通常の白色蛍光灯ランプや昼光色蛍光灯ランプに比べて植物育成に必要な光波長成分(とくに青色領域と赤色領域)をより多く放射するように作られたものであるが、植物成長にあまり寄与しない光成分も多い。

(3) 容器は柵に置かれ、各柵の天井部に置かれた蛍光灯で照射しているので、容器を重ね置きすることができない。このため、栽培空間の利用効率が悪い。

【0005】 (4) 蛍光灯ランプの寿命は数千時間程度であり、長期的に光照度を一定に保つのは難しい。また、膨大な数の蛍光灯ランプの取替え等の保守、管理は大変でありコストもかかる。

(5) 通常の蛍光灯回路ではランプの放射光度を自由に制御することは困難である。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、発光ダイオードからなる光源を容器に装着することによってかかる問題の解決に成功した。即ち本発明は、発光ダイオード（以下LEDと略す）素子を有し、植物培養容器の蓋部に装着しうる様に構成された植物栽培用LED光源、および容器本体と蓋からなる培養容器であって、蓋部分に、発光ダイオード（以下LEDと略す）からなる光源が装着されていることを特徴とする個別LED光源装着型植物培養容器に存する。

【0007】以下、本発明を説明する。本発明の培養容器は容器本体と蓋から構成される。容器の材質は、特に限定されるものではなく、この種容器に使用されるガラス、プラスチック等の各種材料が使用出来るが、容器本体は、少なくともその一部が通気性素材で形成されているか、通気性を確保するための構造を有している必要がある。容器の大きさ、形状も、特に限定されるものでなく取り扱い便利なものであればよい。好ましくは、素材として光透過性、保湿性、耐久・耐薬品性、高いガス透過性を有する樹脂フィルムを容器の一部または全体に用いた容器である。容器全体にフィルムを用いる場合はプラスチック、木、金属等のフレームで補強する。

【0008】光源に使用される赤色LEDとしては、波長領域630nm-680nm、好ましくは発光ピーク波長660nm付近のもの、青色LEDとしては波長領域380nm-480nm、好ましくは発光ピーク波長450nm付近のものが用いられる。青色LEDは光量で赤色LEDの50%以下の割合となる様に用いられる。LEDは赤色および青色を混合使用するが、植物によっては、赤色単独を用いても良い。LED光源は、蓋内部に取り付けてもよく、あるいは、光透過性素材で形成された蓋に重ねて装着しても良い。また、LED素子を配置した基板からなる光源をそのまま容器の蓋とする事も可能である。蓋と本体は独立させ、例えばゴムパッキングと固定レバー等により簡単に密封連結、分離出来る様にすることが好ましい。蓋と容器本体を独立させることにより、光源部分以外の容器に容易に加熱、滅菌することが出来る。また、必要に応じ、容器内に雑菌が混入するのを避けるため、容器本体の開口部は、樹脂フィルム等の光透過性素材で覆うことがこのましい。培養容器内には、培地、培養液が収容されている。以下に好ましい実施態様を説明する。

## 【0009】1. 光源

植物生長に不可欠な光放射源として、発光ダイオード（Light Emitting Diode、通称LED、以下LEDと記す）、とくに、わずかに数ミリアンペア（mA）の電流で目も眩むような明るい光を放つ最新型の超高輝度LEDを採用した。これは次のような理由からである。

【0010】（1）LED（図1）は、通常のものでも

素子1個の大きさが直径5mm、長さ7~8mm、重さ0.3gと豆粒のように小さく軽い、この十年余りの間に急速なテンポで開発され市場に登場した超高輝度LEDの場合、20mAの直流定格電流（所要入力電圧1.8~3.6V）で光度数千カンデラ（cd）、光出力数ミリワット（mW）と従来のLEDに比べておよそ100倍も明るい光を放つ。

【0011】（2）LEDは、元来、光ディスプレイ素子（光表示素子）として開発され、現在、各種電気機器のパネル表示や電光掲示板など、広く使用されているが、超高輝度LEDの場合、複数の素子を二次元的に近接配列すれば照明用光源としても利用できる。

（3）LEDの寿命は数万時間と、電熱型ランプ（電球）はいうまでもなく、蛍光灯ランプに比べても十倍以上も長寿命である。

【0012】（4）LEDは電熱型ランプや蛍光灯などの通常の発光体と違って、分光スペクトルにおける発光波長帯域が極めて狭く単色光に近い美しい純色光を発する。

（5）半導体発光チップ（0.3mm角程度ときわめて小さい）全体と2本の電流端子は、硬質エポキシ樹脂等の非常に硬いプラスチックレンズでおおわれている（図1）ので、通常の使用において割れることはなく、衝撃や振動に対してきわめて堅牢であり、また、湿気にも強い。

【0013】（6）LEDの光放射は適度な指向性（図1）を有するので、効率良く対象物を照射することができる。また、光の照度は光源からの距離の自乗に反比例するという、いわゆる光の逆自乗法則の作用が小さいため、対象物を光源から遠ざけても照度はさほど低下しない。

（7）LEDの光放射は物質内部での電子発光によるものであり、熱の発生はきわめて小さい。このため、栽培中に植物が成長して背丈が伸び、葉や茎がLEDに直接触れても焼けたりすることはない。

【0014】（8）LEDは定格電流（通常20mA）以下では入力電流と放射光強度がほぼ比例するので、照射光強度を電流によって自由かつ定量的に制御できる。

（9）LEDは百万個単位で大量生産される商品であり、開発直後はともかく最終的には1個数十円~百円程度の低価格になる。

上記（1）から（9）に列挙したLEDの数々の特長に加えて、次に述べる理由から、本発明の植物培養器のLED光源は、発光ピーク波長が660ナノメートル（nm）付近の超高輝度赤色LEDと、発光ピーク波長が450nm付近の超高輝度青色LEDの両方を混合使用した。

【0015】（10）植物の光合成において中心的な役割を担う葉緑素（クロロフィル）は、光を一様に吸収するのではなく、赤色660nm付近と青色450nm付

近に明確な吸収ピークを示す(図2)。これに関係して光合成の波長特性は、660nm付近に第一ピークを、450nm付近に第二のピークを有する。この450nm付近の青色光は植物の高エネルギー反応系と呼ばれる光反応系にも影響を及ぼし、植物の健全な形態形成に必要不可欠である。

【0016】(11)波長660nmの赤色LEDは、可視光LED中最も多く生産されており、また、高輝度化が最も進んでいる。現在、最高光度10cdクラスのものが開発されている。

(12)高輝度の青色LEDについては、1993年まで光エレクトロニクスの業界・学界ではそのデビューは21世紀になるだろうと言われていた程、製造が難しかった。ところが、1993年、日亜化学工業は世界で初めて、それも商品レベルで光度1cd(現在2cd)と従来の青色LEDと比べて100倍も明るく、しかも発光波長が450nmと最も短波長の超高輝度青色LEDを開発し、直ちに商品化した。

【0017】(13)本発明者の一人である岡本研正は、超高輝度赤色LEDの発光波長660nmと超高輝度青色LEDの発光波長450nmが、植物の光合成や生長に最も有効に寄与する赤色光および青色光のそれと同じであるという偶然性に着目。直ちに赤色LED(3cd、直径5mm、シャープ製)88個と青色LED(1cd、直径5mm、日亜化学工業製)88個を一枚のプリント基板上に均等に配置・実装した面状光源を製作して植物(レタス苗)の栽培を試み、1994年7月、これに成功。赤色と青色のLEDだけで、しかも、わずか7ワットの光源消費電力で健全な植物苗が育つことを世界で初めて発表した(1994年10月刊行、平成6年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集p.109、岡本研正、柳智博著「青色/赤色超高輝度発光ダイオードを用いた植物育成用光源の開発」)。その後の実験で、ハウレンソウなどの野菜も赤/青LEDで生育することも確かめられた。

【0018】上記(10)～(13)から、超高輝度の赤色LEDと青色LEDの混合から成る植物栽培用光源は、光スペクトルの利用効率が非常に高く、光のムダが少ないことが分かる。図2に本発明で使用した赤色LED(東芝TLRA120、広角放射タイプ)と青色LED(日亜化学工業NLPB520、広角放射タイプ)の発光スペクトルを示す。

#### 【0019】2. 光源の装着

光源の種類が何であれ、従来のガラス製や樹脂製の培養容器を用いた培養では、光源の下方に培養容器を一次的または二次元的に置くのが当然であり、三次元的に重ねて置くことは不可能であった。また、培養槽における光照度の分布や偏りははなはだしく、真に有効な培養エリアは限定される。そこで、小型、軽量、堅牢、長寿命で、しかも発熱がほとんどなく低電力で駆動できる(従

って細く軽い電気コードで給電が可能)というLED光源の特長に着目し、本発明では、LED光源を培養容器の蓋に直接装着したタイプの容器、ならびに、培養容器の蓋の上部に重ねて赤色LEDと青色LEDの混合光源を実装したタイプの小型、軽量かつ簡便な独立型培養容器を考案した。このようなLED光源装着型培養容器は重ね置きが可能であるという、従来のものにはないきわめて実用的な特長を持つものである。

#### 【0020】

10 【発明の実施の形態】以下、本発明を実施例により、より具体的に説明するが、本発明はその要旨を越えない限り以下の例に限定されるものではない。

(1)赤色LED8と青色LED9を1枚のプリント基板(10cm×10cm、厚み1.6mm)上に配置し、これを図3(a)のように培養容器の蓋7(11cm×11cm、高さ17mm)に取り付けて、蓋そのものを光源とした(以下これをLED CAP<レッド・キャップ>と呼ぶ)。容器全体は図3(b)に示す形状で、プラスチックフレーム13と通気性且つ透明な樹脂フィルム14で構成され、内部にロックウール培地15が収容されており、固定レバー16により蓋7を装着することができる。LED CAP自体の重量は100g、LED CAPを装着した場合のロックウールを含む全体(水、培養液は除く)の重量は200gと軽い。なお、LED CAPをつけても全体のサイズは、縦11cm×横11cm×高さ14cmと元のままである。

【0021】(2)LED CAP17は、図4のように別の培養容器29の蓋部に重ねて使用することもできる。この場合、LED CAP光源と容器の結合、脱着はきわめて簡便である。

30 (3)このように容器とLED CAPを一体化することにより、蛍光灯のような外部光源は不要となる。それ故、図5のように培養容器の重ね置きが可能となり、栽培空間を三次元的に完全に利用することができる。図6は蛍光灯を光源とする従来の栽培方法であり、培養容器の重ね置きはできない。

【0022】(4)赤色LEDと青色LEDの回路接続は、前者の最適動作電圧が1.8Vで、後者のそれはちょうど2倍の3.6Vであるという好都合な条件をも考慮し、最終的にLEDへの電流入力端子が最も単純な二端子となるよう、また、入力電圧に対して各LEDに定格以内の電流が流れるよう、適切な直列接続と並列接続の組み合わせを行った(図7)。

【0023】(5)上記(4)に関連して、LED CAPの基板上において、電流入力端子とLED回路との間に、交流(AC)を直流(DC)に変換するブリッジ整流素子を接続するか、あるいはAC/DC整流回路を付設することにより、LED CAPを例えば家庭用交流電源AC100Vコンセントに直接接続して使うことができる(図8)。また、LED自身の持つ整流機能を生

かす回路を組むことによって、上述のAC/DC整流回路をも削除し、LED回路を直接家庭用交流電源に接続し、使用することも可能である。

【0024】(6) 赤色LEDと青色LEDの使用個数については、合成照射光における赤色光と青色光の光量子束密度の成分比率が、これまでの実験により求めた最適値である赤色光70～95%、青色光30～5%となるよう、その各個数を選んだ。図9は、10cm角のプリント基板上に36個の赤色LED(東芝TLRA120)と9個の青色LED(日亜化学工業NLPB520)の計45個のLEDをそれぞれ均等配置した直流型LED CAP(回路は図7)を図3の容器に装着した場合の、LED下方約10cmに位置する栽培床(水耕栽培用ロックウール、9cm×9cm×3cm厚)面中央での光量子束密度と直流入力電流の関係であり、両者は比例関係にある。このことから電流により照射光を連続的に制御できることが分かる。図9において、このLED CAPに定格入力電流 $I = 60\text{mA}$ (図7よりLED1個あたり平均20mAとなる)を流すと光量子束密度は $66\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ となるが、この光強度は、植物苗の栽培やマイクロプロパゲーションを行うのに十分な値である。図9の場合、赤色光と青色光の光量子束密度成分比は86対14である。

【0025】このLED CAPを装着した培養容器を用いて、サラダナ、レタス、カイワレ大根、コマツナなどの低背野菜の栽培、ラン(シンビジウム)やユーカリ\*

\*のクローン苗などのマイクロプロパゲーションを行ない良好な結果を得た。試験例図4に示すようなフッ素樹脂フィルムをポリカーボネイト樹脂製のフレームで支えた培養容器(縦10cm×横10cm×高さ14cm)の上に、図7で配線図を示した直流型LED CAPを重ねて装着し、シンビジウム(*Cymbidium Melody Fair 'Marilyn Monroe'*)のクローン苗条(展開葉3枚、根切除)の無菌培養を行った。培地および培地支持体としては、それぞれ修正Vacin & Went液体培地(無糖)およびロックウールマルチブロック(オランダGro-dania製)を用いた。LED1個当たりの順方向電流を17mAに固定したところ、培地支持体であるロックウールの表面中央での光量子束密度は $45\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であり、その赤色光と青色光の光量子束密度としての構成比は、赤色光86%、青色光14%であった。培養は3000ppmの炭酸ガスを施用したインキューベーター内、25℃で96日間行った。なお、対照として同じフッ素樹脂製フィルム培養容器を用いて植物育成用蛍光灯(東芝ライテック製ブラントルクス、 $45\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )で照明した場合、および従来法であるフラスコ寒天培地を用いて植物育成用蛍光灯(同上)で照明した場合と比較した。結果は表1に示したとおり、LED CAPを用いた試験区で良好な生育を示した。

【0026】

【表1】

表1 個別LED光源装着型植物培養容器によるシンビジウム苗条の無菌培養結果

光 源 (培養容器)	草丈 mm	葉数 枚	茎径 mm	地上部 生体重 mg/苗	根数 本	地下部 生体重 mg/苗
LED CAP (フィルム培養容器)	92.3	7.2	4.2	591.6	3.2	254.1
植物育成用蛍光灯 (フィルム培養容器)	88.9	7.9	4.5	585.3	3.2	241.3
植物育成用蛍光灯 (フラスコ培養容器)	76.3	6.8	3.9	412.8	3.1	213.6

【0027】

【発明の効果】本発明によるLED光源付き培養容器および培養容器用LED光源は、小型軽量かつ構造ならびに構成がきわめて簡単で、しかも低価格で量産可能なので、マイクロプロパゲーションによる種苗生産や不定胚の増殖等に利用できる。もちろん栽培実験やバイオ実験における簡易培養器としても有用である。さらに、農学実験や植物工場的な利用だけでなく、一般向けとして

は、家庭内交流電源を使用する家庭内菜園(ホーム菜園)や、趣味とインテリア(LED光の美しさを利用)兼ねた卓上菜園としての新たな利用も有望であり、新規なる市場の創成の可能性を秘めている。また、透湿性が低く、炭酸ガス透過性の高い培養容器素材を本発明に利用すれば、高効率を要求される宇宙ステーション内の野菜栽培も可能と考えられる。

【0028】

## 【図面の簡単な説明】

【図1】LEDの形状と構造である。

【図2】クロロフィル（葉緑素）の光吸収分光特性と、本発明で使用した赤色LEDおよび青色LEDの発光スペクトル図である。

【図3】本発明実施例に用いた光源（LED CAP）及び光源を装着した培養容器を示す取り鳥瞰図である。

【図4】LED CAPを培養容器の蓋へ重ねて装着する方法を示す図である。

【図5】本発明培養器の重ね積み使用例を示す図である。

【図6】従来の植物育成用蛍光灯を用いた栽培例を示す図である。

【図7】LED CAPにおける赤色LEDと青色LEDの回路接続例である（直流電源使用の場合）。

【図8】交流電源（AC100V）用LED CAPの回路例である。

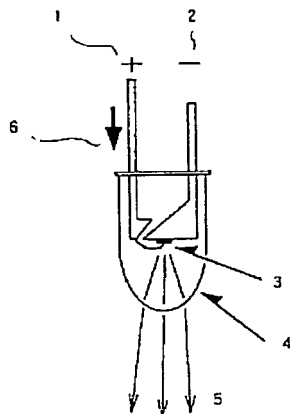
【図9】本発明培養容器のロックウール表面中心部における光強度（光量子束密度）と入力電流（直流）の関係を示す図である。

## 【符号の説明】

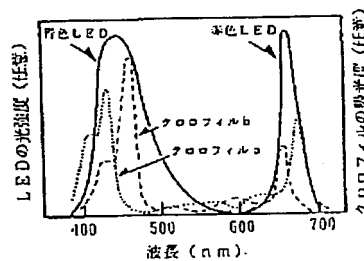
- 1 陽極端子
- 2 陰極端子
- 3 発光チップ
- 4 エポキシ樹脂レンズ
- 5 放射光
- 6 入力電流
- 7 蓋

- 8 赤色LED
- 9 青色LED
- 10 ゴムパッキング
- 11 プラスチックスペーサ
- 12 培養容器本体
- 13 プラスチック製フレーム
- 14 通気・遮水性フィルム
- 15 ロックウール
- 16 固定レバー
- 17 レッドキャップ
- 18 電源コード
- 19 ストッパー
- 20 培養容器
- 21 柵
- 22 植物育成用蛍光灯
- 23 直流用レッドキャップ
- 24 赤色LED
- 25 青色LED
- 26 赤色LED
- 27 直流電流源
- 28 交流用レッドキャップ
- 29 ブリッジ整流素子
- 30 赤色LED
- 31 青色LED
- 32 赤色LED
- 33 抵抗
- 34 ACコンセントプラグ

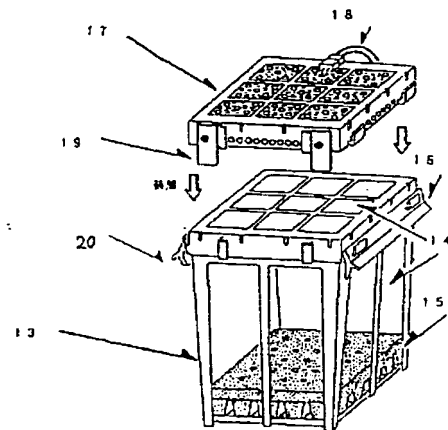
【図1】



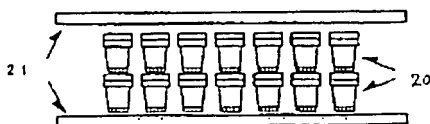
【図2】



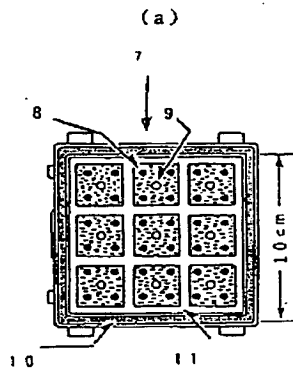
【図3】



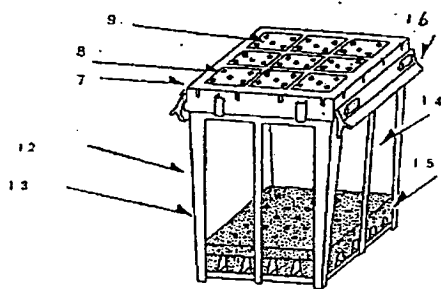
【図5】



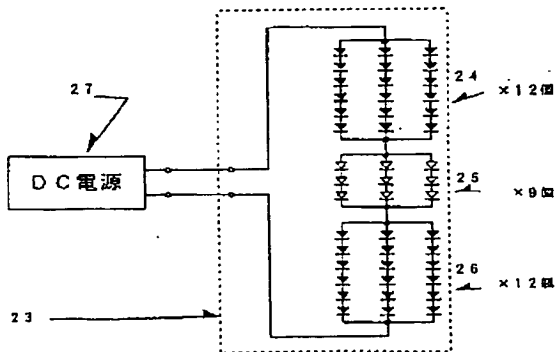
【図3】



(b)



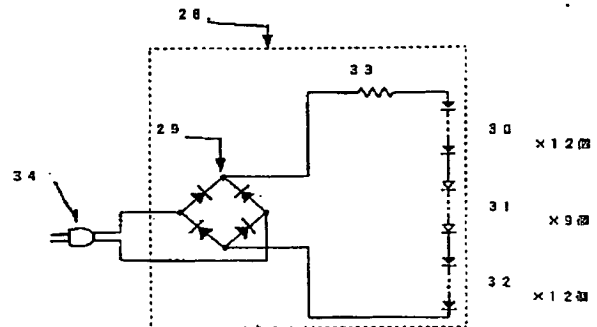
【図7】



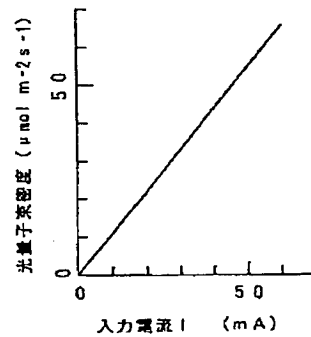
【図6】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(71)出願人 000005968  
三菱化学株式会社  
東京都千代田区丸の内二丁目5番2号

(72)発明者 岡本 研正  
香川県高松市昭和町1丁目13番地25の406号  
(72)発明者 田中 道男  
香川県木田郡三木町大字平木644-2

(72) 発明者 牧野 好美  
横浜市港南区日野南6丁目34-22